

杨永宜论文集

《杨永宜论文集》编辑委员会

冶金工业出版社

杨永宜论文集

《杨永宜论文集》编辑委员会 编

北 京

冶金工业出版社

1997

图书在版编目(CIP)数据

杨永宜论文集/《杨永宜论文集》编辑委员会编. —北京:
冶金工业出版社, 1997. 1

ISBN 7-5024-2015-0

I. 杨… I. 杨… II. ①冶金-文集②杨永宜-文集
N. TF-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 25310 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

河北省三河市新燕印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1997 年 1 月第 1 版, 1997 年 1 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 10.875 印张; 292 千字; 300 页; 1~1000 册

30.00 元

=====

值此纪念杨永宜教授逝世十周年之际,谨以此书献给他毕生追求的事业和关心热爱他的人们。

《杨永宜论文集》编辑委员会

杭永益	陈明仁	杨天钧	董一诚
孔令坛	刘云彩	张洪都	齐宝铭
高征铨	路锁顺	王维兴	宋阳升

序 言

杨永宜先生是新中国成立后新一代冶金学家。1947年毕业于唐山交通大学冶金系,随即留校任教。建国以后,1949年至1953年,先后在哈尔滨工业大学和东北工学院,作为新中国的第一批研究生,在前苏联教授指导下,主修炼铁专业。毕业后在新成立的北京钢铁学院任教。1958年起,任冶金系炼铁教研室主任、教授、博士生导师、系和院两级学术委员会成员,以及国务院学位委员会工学学科评议组成员。1962年后,还担任中国金属学会炼铁学术委员会副理事长,国家科委钢铁组成员,直至1987年逝世。

杨永宜先生到北京钢铁学院后,正值新中国高等教育及冶金学科体系改革发展并逐渐完善的时期。他几十年如一日,兢兢业业,辛勤耕耘,精益求精,治学严谨,成就卓著,在国内外冶金界有重大影响,为推动我国钢铁工业技术的发展做出了巨大贡献。

杨永宜先生的学术著述甚丰,其中关于“高炉煤气运动及压强场分布”、“高炉悬料力学”及“碱金属循环”以及“高炉喷煤燃烧动力学”等方面的论文研究深入,为高炉提高自动化控制水平奠定了理论基础。改革开放以来,他积极参加国际学术会议,并多次出国讲学,在国际冶金学术界享有盛誉。

由于杨永宜先生卓有成效的工作,他曾多次受到表彰,并获得多种奖励和荣誉称号。

杨永宜先生早逝是我国钢铁学术界的巨大损失。我们要学习杨永宜先生锲而不舍的精神,为发展我国的钢铁事业多作贡献。

北京科技大学教授
中国科学院院士

魏寿昆

1996年5月

杨永宜教授生平简介

杨永宜先生1923年7月28日生于江西省萍乡市,自幼天资聪颖,勤奋好学。早年就读于萍乡扶轮小学及中学,成绩优异。1942年9月在贵州平越(今福泉)考入唐山交通大学冶金系。抗日战争烽火中,他随学校辗转于贵州、四川等地,并在云南直接参加了抗战活动。抗战胜利后,他又随学校迁回唐山,1947年毕业,留校任教,直至1949年新中国成立。

新中国成立以后,杨永宜先生作为我国第一批直接由前苏联教授培养的研究生,1950年至1952年在哈尔滨工业大学、1953年在东北工学院,主修炼铁专业。学成毕业后到新成立的北京钢铁学院冶金系炼铁教研室任教。从此,他一直工作在这一岗位上,自1958年起任炼铁教研室主任、教授、博士生导师、系和院两级学术委员会成员以及国务院学位委员会工学学科评议组成员,直至1987年2月3日辞世。

杨永宜先生治学严谨,崇尚实践,在北京钢铁学院工作三十四年中,为建立新中国冶金高等教育的教学体制,尤其是在教材建设和促进我国钢铁工业生产与技术进步方面,作出了重大贡献。他是理论联系实际的、有建树和杰出成就的知名学者,是新中国现代炼铁科学技术的奠基人之一。改革开放以来,他加强了国际交往,是一位在国际上享有盛誉的冶金学者。

杨永宜先生学识渊博,理论基础扎实,在教学和科研工作上多有建树,特别是在高炉冶炼基本理论方面诸多开拓。他1959年主编了三卷本的《炼铁学》,1962年又主编了《专业炼铁学》。这些著作承前启后,为新中国的钢铁冶金理论教育体系奠定了坚实的基础,既为在校的大学生、研究生提供了优秀的教材,又为钢铁战线

的工程技术人员提供了丰富的指导性资料,备受学术界赞誉。

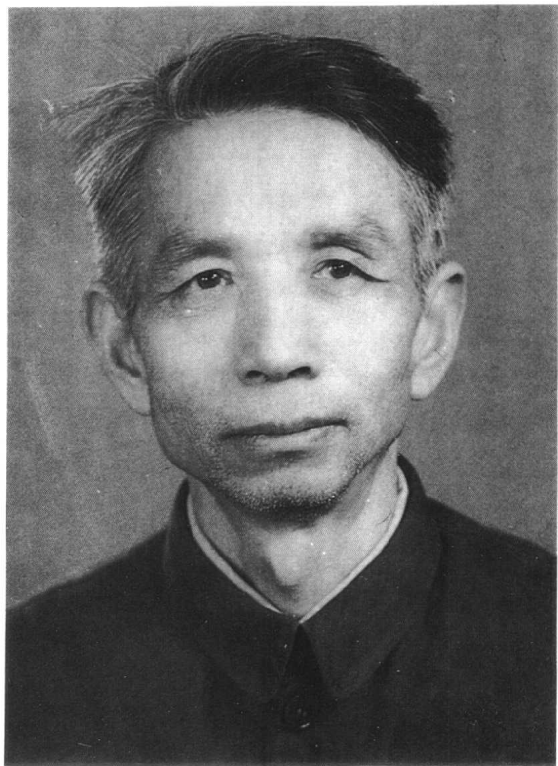
进入60年代,高炉过程自动控制研究是世界发达国家关注的重要课题,杨永宜先生在用数学方法处理极其复杂的高炉内煤气及炉料运动方面,以及高炉过程数学模型等方面都做出了极有价值的开拓性贡献。其代表性著作诸如:“高炉悬料力学机理的研究”、“高炉气流压强梯度场的研究及其理论和实际意义”、“高炉内煤气分布和炉料运动研究的新进展”以及“高炉风口回旋区及高炉下部煤气运动特性及分布的研究”等论文,为高炉过程自动控制奠定了理论基础。

在生产实践方面,杨永宜先生积极领导和参与了许多在钢铁生产上意义重大的攻关课题。如1964年首都钢铁公司高炉喷煤技术的开发,80年代初,包头钢铁公司含氟复合稀土铁矿的冶炼攻关等,并据此发表了极有见地的论文,也是其理论联系实际的重要成果。

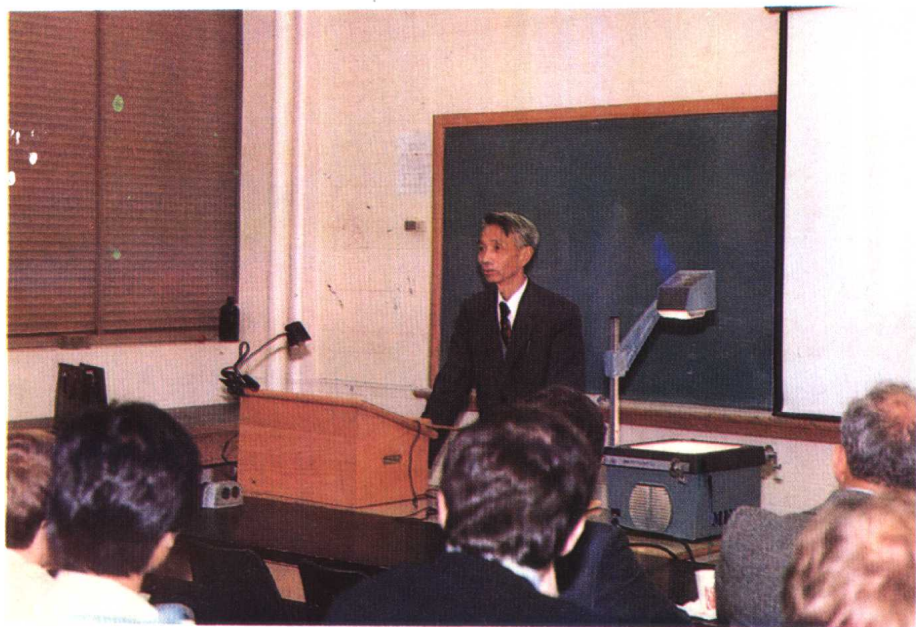
由于杨永宜先生在高等教育和工业战线上的成就和威望,在繁重的教学和科研工作之外,从1962年开始,他担任了中国金属学会炼铁学会的常务副理事长、国家科委钢铁组成员,直至辞世。

鉴于上述卓有成效的工作和贡献,杨永宜先生曾多次被评为院级优秀党员,并于1977年被评为北京市先进科技工作者,1978年荣获冶金工业部科技大会奖。1985年被评为北京市统战系统“为四化服务先进个人”,在他逝世以后的1988年12月,国家科委、计委和经委联合表彰了杨永宜先生在材料工业技术政策制定中的突出贡献。

杨永宜先生在国内钢铁冶金生产和理论方面的成就,也受到国际同行的重视与好评。自改革开放以来,他作为知名学者多次应邀赴美国、法国、德国和瑞典等国考察和讲学。他在出国考察之前便发现了病兆,但是仍然奋不顾身坚持工作,孜孜以求,以致未能及早治疗,造成了过早去世。这对于我国的冶金学术界是令人痛惜的莫大损失。



杨永宜教授



杨永宜教授在加拿大 McMaster 大学作学术讲演



杨永宜教授在工作中



杨永宜教授会见外国专家



杨永宜教授在国外与中国访问学者座谈

目 录

序言	魏寿昆
杨永宜教授生平简介	
1. 本钢高炉强化冶炼过程分析	1
2. 近年来世界炼铁科技发展趋势及对几个问题的分析 ...	24
3. 理论焦比和各种因素对焦比影响的工程计算方法	44
4. 高炉悬料力学机理的研究	66
5. 高炉气流压强梯度场研究及其理论和实际意义	79
6. 论发展大型高炉的焦炭质量问题	89
7. 高炉法冶炼稀土硅铁合金试验及分析	102
8. 含氟稀土渣的粘度	121
9. 高炉风口回旋区及高炉下部煤气运动特性及 分布的研究	138
10. 高炉内煤气分布和炉料运动研究的新进展	149
11. 碱金属及氟引起高炉结瘤的机理及防治结瘤 的措施	165
12. 炼铁过程数学模型的建立和应用	176
13. 炼铁工艺问题讨论	209
14. 高炉风口回旋区煤粉燃烧动力学研究	223
15. 进一步提高高炉喷煤量而不降低煤利用率 的可能性研究	238
16. 高炉软熔带的形成及其对煤气流分布的影响	256

17. 熔融还原应用铁水熔池造气技术的现状与发展	267
18. NbC 滞留带的发现与研究	281
附:杨永宜先生发表过的(未收入本论文集的)	
其他著作	291

1. 本钢高炉强化冶炼过程分析

(1959 年)^①

摘要:本文从高炉炉料的透气性和还原性、氧化带和焦炭的循环区,炉型、高压操作,影响焦比因素的分析等问题,对本钢高炉提高冶炼强度、降低焦比、强化高炉生产从理论上进行了分析。

高炉生产的主要目标是要以最少的焦炭消耗达到最高的产量,除了降低焦比外,提高冶炼强度是增产的最有效办法。有人认为,冶炼强度到顶了,再提高就要减产(炉况不顺,结瘤),焦比也会升高,而且确有一些“事实”和“理论”来支持这种观点。所以,如何正确地对待冶炼强度和焦比的问题,是高炉生产中带有方针性的问题。本钢第一钢铁厂(以下简称本钢一厂)去年创造了利用系数月平均2.2以上(焦比在640kg左右),今年5月份又提高到2.5的水平,又一次用铁的事实打破了过去很多人长期的保守思想。

本钢一厂有两座中型高炉,内型主要尺寸如表1。

表1 高炉内型主要尺寸

炉内型项目 别	容积 m ³	有效高 度/m	炉腰直 径/m	炉缸直 径/m	炉腹角	炉身角
1号炉	333	19.73	5.4	3.9	78°36'	85°16'
2号炉	324	19.75	5.2	4.1	80°10'	85°58'

① 本文合著者有刘述临、黄务游、任大宁、项强、吕尊善,原发表于《钢铁》,1959, No13.

表 2 是 1958 年主要技术指标的按月平均值. 表 2 说明, 全厂的利用系数及冶炼强度达到了最高的世界记录, 焦比也低得可观.

本钢一厂 1958 年生产中的最大特点是以提高冶炼强度作为最主要的增产手段, 最后也达到了降低焦比的目的, 围绕提高冶炼强度, 各车间各部门紧密配合采取了一系列措施.

表 2 本钢一厂 1958 年主要技术指标

指 月 标 份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
利用系数/ $t(m^3 \cdot d)^{-1}$	1.312	1.435	1.447	1.551	1.786	1.825
冶炼强度/ $t(m^3 \cdot d)^{-1}$	0.996	1.015	1.029	1.066	1.175	1.225
焦比(干基)/ $t \cdot t^{-1}$	0.766	0.717	0.714	0.692	0.662	0.690
指 月 标 份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
利用系数/ $t(m^3 \cdot d)^{-1}$	1.884	1.934	2.077	2.245	2.139	2.265
冶炼强度/ $t(m^3 \cdot d)^{-1}$	1.248	1.326	1.335	1.399	1.437	1.394
焦比(干基)/ $t \cdot t^{-1}$	0.663	0.677	0.638	0.627	0.707	0.656

在所有各种技术措施中, 应当指出, 原料准备工作的改善是提高冶炼强度的基础. 由于在选矿流程中采用了磁选和重力选矿相结合的方法, 精矿粉的含铁量由 1 月间的 60% 提高到 8 月份以后的 65%; 这就为烧结提供了极为有利的条件. 精矿粉中 SiO_2 含量因铁含量增加而降低后, 使烧结矿的碱度, 在强度和还原性大为改善的条件下很容易提高. 高炉使用这种烧结矿后渣量几乎减少 25% 以上, 其次, 烧结原料所用的石灰石筛去了 $<1mm$ 的部分, 这对粒度极小的精矿粉烧结来说, 大大地改善了混合料的透气性, 从而提高了烧结矿的产量和质量. 还有烧结料中固定碳用量减少(由 4.15%~2.83%), 因而烧结中的 FeO 由 14%~15% 降到 11%. 又由于烧结矿筛去了 $<5mm$ 的粉末(2 月以后开始采用). 焦炭分为 40~65mm 及 65mm 以上两级入炉, 对改善炉料透气性起了巨大作用, 如焦炭分级后, 沿炉身高度的压头损失即降低了 2%~4%, 产量提高了 7%~15%. 总之, 原料准备工作的改进为高炉提

高冶炼强度和降低焦比奠定了坚实的基础。

本钢一厂在提高冶炼强度后又尽可能地提高了风温(一厂和二厂的风温都曾达到 1000°C 以上)。本钢一厂还特别重视按煤气分布的炉喉布料调剂工作,即使高炉装料设备有缺陷,使调剂受到限制,但他们仍不断地摸索改进布料,提高冶炼强度后,要进一步降低焦比和保证顺行,这也是很重要的。

提高冶炼强度,决不只是一个简单的多吹风的问题。下料加快后,卷扬能力不够,则加快卷扬机的转速来克服;炉缸冷却水温差突然增至 3.5°C ,则加大水压;风量加大后,中心煤气流过分发展(管道),因而引起严重的崩料和炉冷,解决的办法是,扩大风口直径。还有出铁次数多、铁渣罐周转、铸铁机能力等等一系列问题,由于及时地解决了这些问题,冶炼强度才不断地提高,生产不断地跃进。

详细分析本钢高炉冶炼强度提高的原因,我们认为有以下几个问题需要特别阐明。

一、炉料的透气性和还原性

要不断地提高冶炼强度,保持炉料柱有相应的良好透气性是非常重要的。在这方面,本钢一厂做了很多工作:矿料中采用了90%以上的自熔性烧结矿,而且烧结矿的粒度绝大部分(90%以上)是 $5\sim 30\text{mm}$,其中又以 $10\sim 20\text{mm}$ 的为最多。1959年2月测得烧结矿堆积密度为 $1.56\text{t}/\text{m}^3$,焦炭为 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 。这种炉料的透气性当然很好。

改善炉料透气性主要还有以下几方面:

1. 筛去烧结矿中 $<5\text{mm}$ 的粉末。
2. 焦炭分为 $40\sim 65\text{mm}$ 及 65mm 以上两级入炉,1959年5月以来又分级分炉使用。
3. 减少渣量,每吨生铁的渣量按计算1月份平均为 720kg ,5月份减到 625kg ,10月份只有 530kg 左右。

把烧结矿粒度的下限定为 5mm 是合理的,既照顾了还原过程的需要的较大面积,又照顾了透气性所必需的粒度下限。

图 1 为试验室测出的各种矿料的透气性。

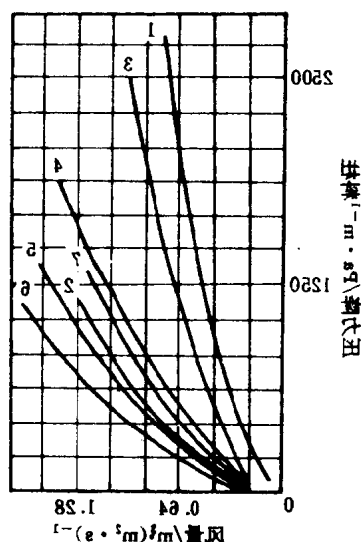


图 1 不同粒度的烧结矿和矿石对

煤气通过时的阻力

1.2-4~11mm 和 25~32mm 的矿石;3.4.5.6-4~11mm.11~19mm.19~25mm 和 25~31mm 的烧结矿;7-11~19mm 和 25~31mm 矿料的混合料

图中表明,4~11mm 烧结矿的透气性已较差,筛去<5mm 的肯定有利于透气性,11~19mm 的较好,从还原过程说,11~19mm 也是很理想的(4~11mm 的更好),图中也说明气体速度越大,炉料粒度对透气性的影响也越大,本钢一厂烧结矿中 10~20mm 的占有很大的比例,这是很有利的。

一般中型高炉中使用的天然矿石看来最好也在 8~10mm 以上,上限在破碎能力允许时可减至 30~35mm(烧结矿粒度的上限可大到

40mm),参看图 2。

为了满足增加风量后对透气性的要求,焦炭和烧结矿的强度具有很重要的意义。

本钢的焦炭质量在 1958 年并没有很大的改进,而焦炭灰分在 1958 年还有所增高,如 1 月份为 12.38%,而 12 月份则为 13.63%。